

5. *Thaweenut N., Hachisuka Y., Ando S., Yanagisawa S., Yoneyama T.* // Plant and Soil. 2011. Vol. 338. P. 435–449.
6. *Zhao J., Zhang C., Lu J., Lu Z.* // Canadian Journal of Microbiology. 2016. Vol. 62(5). P. 431–436.
7. *Zhang X., Huang Y., Harvey P. R., Ren Y., Zhang G., Zhou H., Yang H. E.* // Biotechnol Letters. 2012. Vol. 34(2). P. 287–293.
8. *Revathi K., Chandrasekaran R., Thanigaivel A., Akirubakaran S. A., Senthil-Nathan S.* // Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2014. Vol. 47(11). P. 1365–1375.

Г. Л. Бурыгин

*Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН,
410049, Россия, г. Саратов, просп. Энтузиастов, 13
Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова;
410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1
burygingl@gmail.com*

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ РИЗОСФЕРНЫМИ БАКТЕРИЯМИ

Ключевые слова: PGPR, фитоиммунитет, биоконтроль.

Использование ризосферных бактерий, способных стимулировать рост растений (так называемые «PGPR»), за последние несколько десятилетий широко вошло в практику современной агробиотехнологии. Рынок биопрепаратов на основе штаммов PGPR является бурно растущим сегментом мировой экономики и по итогам 2015 года оценивался в более чем один миллиард долларов США с прогнозами десятикратного роста в период до 2025 года [1–2]. Первоначально исследования растительно-микробных взаимодействий ризосферных бактерий были направлены на поиск экологически безопасной альтернативы минеральным удобрениям. Однако с развитием молекулярно-генетических и аналитических методов стало возможным изучение более широкого набора аспектов ассоциативного симбиоза ризосферных бактерий с растениями. Помимо стандартного набора свойств PGPR: продукция фитогормонов, азотфиксация, фосфат-сольюбилизация, активные исследования проводятся по значимости ризосферных бактерий в снабжении растений катионами металлов, в том числе калия, биоконтрольные функции повышения устойчивости растений к фитопатогенам [3–4]. Одним из весьма перспективных направлений изучения ассоциативных симбиозов является исследования влияния PGPR на рост и развитие растений в стрессовых условиях, таких как засуха, засоленность, загрязнения среды ксенобиотиками. В экологической биотехнологии появилось целое направление – «ризоремедиация» [5] – изучение ризосферных процессов бактериальной деградации органических и детоксикации неорганических загрязнителей с последующим поглощением продуктов растениями.

Физиолого-биохимические механизмы биоконтроля ризосферными бактериями можно условно разделить на две группы: прямого и опосредованного противодействия фитопатогенезу [4]. К первой группе относятся биохимические свойства бактерий, определяющие симбиотические (амменсализм, антагонизм, конкуренцию и другие) отношения определенной пары штаммов PGPR и фитопатогена. Их изучение чаще всего проводится в чистых культурах и определяется степенью подавления развития фитопатогена культурой или метаболитами PGPR. С описанием и характеристикой действия многих бактериальных метаболитов (феназин, хитиназа, HNC, токсины) в последние годы такие взаимоотношения стали более понятны. Ко второй группе механизмов биоконтроля можно причислить способность к активации и поддержанию реакций врожденного фитоиммунитета. Было установлено, что растения при контакте даже с «полезными» ростстимулирующими бактериями или их биомакромолекулами запускают неспецифические реакции фитоиммунитета, препятствующие проникновению микробов в растительные ткани. Такой ответ растения существенно повышает устойчивость к фитопатогенам [6].

Таким образом, растения в симбиозе с ризосферными бактериями значительно более устойчивы к повреждающим абиотическим и биотическим факторам среды. При этом в каждом биоценозе (или агроценозе) набор наиболее эффективных штаммов PGPR различается в силу особенностей климата, почвы и биологического разнообразия среды.

Список литературы

1. Markets and markets. Biofertilizers Market by Type (Nitrogen-Fixing, Phosphate-Solubilizing, Potash-Mobilizing), Microorganism (Rhizobium, Azotobacter, Azospirillum, Cyanobacteria, P-Solubilizer), Mode of Application, Crop Type, Form, and Region – Global Forecast to 2022 [Electronic resource]. URL: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/compound-biofertilizers-customized-fertilizers-market-856.html> (дата обращения: 31.08.18).
2. Biotechnology and the bioeconomy – Towards inclusive and sustainable industrial development / Y. Lokko, M. Heijde, K. Schebesta et al. // New biotechnology. 2017. Vol. 25. P. 40.
3. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture / G. Gupta, S.S. Parihar, N.K. Ahirwar et al. // J. Microb. Biochem. Technol. 2015. Vol. 7 (2). P. 96–102.
4. Ahemad M., Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective // J. King Saud University-Science. 2014. Vol. 26(1). P. 1–20.
5. Kuiper I., Lagendijk E.L., Bloemberg G.V., Lugtenberg B.J. Rhizoremediation: a beneficial plant-microbe interaction // Molecular Plant-Microbe Interactions. 2004. Vol. 17 (1). P. 6–15.
6. Tortora M.L., Dhaz-Ricci J.C., Pedraza R.O. Protection of strawberry plants (*Fragaria ananassa* Duch.) against anthracnose disease induced by *Azospirillum brasilense* // Plant and Soil. 2012. Vol. 356 (1–2). P. 279–290.